

**ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ  
БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ ПЯТОГО ПОКОЛЕНИЯ В СИСТЕМЕ УМНОГО ГОРОДА**

Т. М. Жакишева, В. М. Саклаков

Научный руководитель: профессор Н. Джаякоди

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

[taya\\_9494@mail.ru](mailto:taya_9494@mail.ru)

**APPLICATION OF UNMANNED AERIAL VEHICLES FOR THE ORGANIZATION OF WIRELESS  
5G NETWORKS IN THE SYSTEM OF A SMART CITY**

T. M. Zhakisheva, V. M. Saklakov

Scientific adviser: Professor N. Jayakody

National Research Tomsk Polytechnic University

634050, Tomsk, Lenin Avenue, 30

[taya\\_9494@mail.ru](mailto:taya_9494@mail.ru)

**Abstract.** *This article illustrates ways to solve problems in the field of urban management with using modern 5G wireless networks. We have provided an overview of UAV-aided wireless communications, highlighting the key design considerations as well as the new opportunities to be exploited. Object of analysis is the communication process of a large number of distributed users. Subject of analysis is data transmission capacity, sufficient for stable communication of users and most services, taking into account the mobility of a huge number of users. We have gave examples on UAV-aided wireless communications with the help of three use cases: UAV-aided ubiquitous coverage, UAV-aided relaying, and UAV-aided information dissemination. Furthermore, the key design considerations for UAV communications, energy consumption by the UAVs have also been discussed. Lastly, we have highlighted two key performance enhancing techniques by utilizing UAV controlled mobility.*

**Введение.** Современные города, даже относительно крупные, аккумулируют в себе огромные информационные потоки на всех уровнях – от отдельного человека до систем городского хозяйства. Систематизация данных потоков позволит снизить издержки на производство управления экономическими и социальными системами города, повысить удобство жизни горожан.

Объектом анализа в настоящей работе являются информационно-коммуникационные и логистические процессы огромного числа распределенных, постоянно мигрирующих людей (пользователей) в рамках системы городского хозяйства. Актуальность работы обусловлена новыми возможностями, открывающимися благодаря возникновению перспективных технологий организации беспроводных сетей пятого поколения (5G). Целями настоящей работы являются (1) обзор возможностей данного комплекса технологий, (2) проблем их реализации, а также (3) современное состояние уровня развития технологий в России и за рубежом.

**Современное состояние предметной области.** Большая часть отечественных работ посвящена отдельным техническим вопросам организации беспроводных сетей [1-2] или их организации для узкой группы пользователей, например, [3]. Встречаются работы более высокого уровня обобщения,

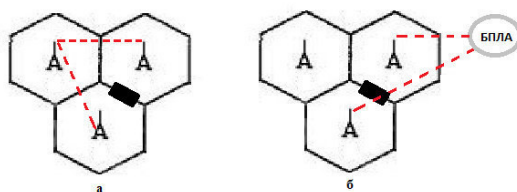
посвященные методологии организации беспроводных сетей [4-5]. Лишь в небольшом количестве работ для организации беспроводных сетей применяются беспилотные летательные аппараты [6-7]. При этом работ, комплексно описывающих организацию работ беспроводных сетей пятого поколения (5G) в рамках относительно крупной экономической системы в явном виде обнаружить не удалось.

Зарубежные научные коллективы активно ведут разработки различных элементов беспроводных сетей пятого поколения. Коллаборация ученых предлагает ряд определенных решений для организации беспроводных сетей в умных городах [8-9]. Рассматриваемые работы сосредоточились на технической стороне обеспечения работы беспроводных сетей и на узких сегментах работы городского хозяйства.

Использование БПЛА как элементов сетей пятого поколения поможет эффективно решать ряд проблем, вызванных повреждением инфраструктуры из-за стихийных бедствий, перегрузкой базовых станций, отсутствием надежных прямых линий связи между двумя и более удаленными пользователями. Достижение данных результатов возможно путем обеспечения беспрепятственного беспроводного покрытия в обслуживаемой зоне, ретрансляции сигнала, в основе которых лежит БПЛА.

По мнению авторов, рассмотрение данного объекта анализа стоит начинать с комплексной оценки потребностей городского хозяйства. Однако данный анализ будет проводиться в рамках следующих работ. Настоящая работа будет посвящена именно технической стороне проблем создания беспроводных сетей пятого поколения и предоставляемым ими возможностям.

**Проблемы разработки и развертывания беспроводных сетей пятого поколения.** Современные сети построены по принципу сот. Тем не менее, такое расположение базовых станций влечет ряд сложностей (сильное затенение, сложности ландшафта и т. д.) Основная идея, которая позволит увеличить скорость передачи данных и надежность передачи и приема сигнала заключается в мобильности некоторых элементов сети (см. рисунок 1).



*Рис. 1. Препятствие между базовыми станциями преодолевается с помощью ретрансляции на (а) близлежащую станцию; (б) БПЛА*

На сегодняшний день альтернативой традиционным сотовым сетям также является использование высотных платформ (high-altitude platforms - HAP), таких как воздушные шары, аэростаты и беспилотные летательные аппараты, находящиеся в стратосфере и получающие питание от солнечных батарей. HAP, в отличие от традиционных LAP (low-altitude platforms – низких платформ) на базе БПЛА, обеспечивают более надежное покрытие больших географических зон. С другой стороны, БПЛА могут быть гораздо быстрее развернуты, в связи с чем резко повышается к ним интерес для использования в экстренных ситуациях. Кроме того, с помощью маломощных БПЛА могут быть установлены линии связи в пределах прямой видимости (LOS), что потенциально приводит к улучшению производительности.

**Проблемы, связанные с автономной работой БПЛА на заданный срок.** Перед инженерами также возникает вопрос об обеспечении питанием БПЛА на достаточное для их работы время.

Ограниченная доступность энергии серьезно затрудняет выносимость БПЛА. Данную задачу возможно решить несколькими способами: 1 – своевременно пополнять энергию на борту, без значительного прерывания поддерживаемых коммуникационных услуг, с помощью эффективных энергосберегающих механизмов развертывания; 2 – выполнять поставленные задачи с минимальным потреблением энергии посредством интеллектуального управления энергией.

Помимо широко используемых источников энергии, таких как электрические батареи или жидкое топливо, возрастает интерес к питанию БПЛА солнечной энергией или специальной беспроводной технологией передачи энергии.

**Заключение.** В данной статье были описаны ключевые моменты внедрения беспроводных сетей пятого поколения в системы городского хозяйства; выполнен обзор возможностей данного комплекса технологий; приведены примеры использования БПЛА для решения поставленных задач в спектре описанной проблемной ситуации. В дальнейшем планируется решить вопрос оптимального развертывания БПЛА, расширить его функциональные возможности. Для достижения поставленных задач необходимо, в первую очередь, провести детальный анализ уже существующих решений, опираясь на результаты проведенных исследований.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Казаков Е. Н. Разработка и программная реализации алгоритма оценки уровня сигнала в сети WI-FI // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2016 – № 1. – С. 13-19.
2. Ефремова Е.В., Лазарев В.А. Анализ энергопотребления приемопередатчиков для сверхширокополосных беспроводных сенсорных сетей // Успехи современной радиоэлектроники. – 2013. – № 3. – С. 43-54.
3. Плеханов П.А. Беспроводные инфокоммуникационные сети на железнодорожном транспорте / Учеб. Пособие. СПб. Изд-во: Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2014. – 55 с.
4. Киричек Р.В., Парамонов А.И., Прокопьев А.В., Кучерявый А.Е. Эволюция исследований в области беспроводных сенсорных сетей // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2014. – № 4. – С. 29–41.
5. Ермаков С. А., Баранников Н. И., Батаронов И. Л. Применение теории массового обслуживания для моделирования сетей LTE // Информация и безопасность. – 2013. – Т. 16, №4. – С. 538–545.
6. Варельджян К. С., Парамонов А. И., Киричек Р.В. Оптимизация траектории движения БПЛА в летающих сенсорных сетях // Электросвязь. – 2015. – № 7. – С. 20–25.
7. Футахи А., Парамонов А. И., Прокопьев А. В., Кучерявый А. Е. Сенсорные сети в гетерогенной зоне системы длительной эволюции // Электросвязь. – 2015. – № 3. – С. 36–39.
8. Zeng Y., Zhang R., Lim T. J. Wireless communications with unmanned Aerial vehicles: opportunities and challenges // IEEE Communications magazine. – 2016. – P. 36–42.
9. Menouar H., Guvenc I., Akkaya K., Uluogac A. S., Kadri A., Tuncer A. UAV-enabled intelligent transportation systems for the Smart city: Applications and Challenges // IEEE Communications magazine. – 2017. – P. 22–28.